

首钢 2 号高炉现代化技术改造设计

张福明 毛庆武 张建 苏维

(北京首钢设计院 北京 100043)

摘 要 首钢 2 号高炉(1780m³)技术改造设计采用了高温预热及高温长寿热风炉技术、高效长寿综合技术、铜冷却壁技术、软水密闭循环冷却技术、高炉人工智能专家系统、矿丁及焦丁回收技术、炉前现代化设备等先进技术。投产 1 年多来,高炉生产稳定顺行,月平均利用系数达 2.444t/(m³·d)综合焦比 443.2kg/t 煤气利用率 50.494%,实现了“高效、低耗、长寿、优质、清洁”的设计目标。

关键词 高炉 技术改造 设计

1 前言

1991 年 5 月,首钢 2 号高炉(1726m³)经过新技术大修改造后投产,一代炉龄设计为 8-10 年,经过 10 年的生产,部分设备已经老化、陈旧,而且多项配套设施如热风炉、矿焦筛分、给排水、供配电、环保除尘等系统大多为 1991 年扩容大修前(1327m³)的设施,使用时间已有 20 多年。根据首钢总公司的发展规划,决定于 2002 年对首钢 2 号高炉进行一次全面的现代化技术改造。首钢 2 号高炉技术改造是首钢 21 世纪初炼铁系统结构调整的最重要的技改项目,要求全面提升 2 号高炉技术及装备水平,提高炼铁工序的市场竞争力,改造传统的生产工艺,实现高炉的高效、长寿、高温、大喷煤量,以降低生产成本的方式实现经济效益的更大突破。首钢 2 号高炉场地非常紧张,为了在原有场地条件下进行技术改造,又不影响 2 号高炉的正常生产,同时要求 2 号高炉停炉改造时间尽可能缩短,而且要求高炉实现清洁化生产,因此对 2 号高炉的现代化技术改造设计提出了很高的要求。

2 首钢 2 号高炉现代化技术改造设计主要技术经济指标

首钢 2 号高炉主要技术经济指标见表 1。

表 1 首钢 2 号高炉主要技术经济指标

项 目	设计值	项 目	设计值
高炉有效容积 /m ³	1780	熟料率 /%	>86
高炉年工作日 /d	355	渣量 /kg/t	320
年平均利用系数 /t/(m ³ ·d)	2.3-2.6	入炉风量(不富氧) /Nm ³ /t	1220
日产铁量 /t/d	3670-4488	送风压力 /MPa	0.35
焦比 /kg/t	300	风温 /℃	1250
煤比 /kg/t	200	顶温 /℃	150~200
燃料比 /kg/t	500	顶压 /MPa	0.2~0.25
综合焦比 /kg/t	460	富氧率 /%	3
综合冶炼强度 /t/(m ³ ·d)	1.058-1.196	年产生铁 /×104/a	130-160
综合入炉矿品位 /%	>58.5	一代炉龄(无中修) /y	15

3 首钢 2 号高炉现代化技术改造主要内容

此次 2 号高炉技术改造以新技术、新工艺的应用,节水、节能、降耗、增效和环保为改造重点,以高

联系人 张建 高级工程师(100043)北京首钢设计院 电话 010-88291736

毛庆武 高级工程师(100043)北京首钢设计院 电话 010-88292003

效、低耗、长寿、优质、清洁为设计指导方针。

本次 2 号高炉技术改造尽可能利用原有基础设施,原料仓、N1 主胶带、No1 转运站、高炉基础、高炉框架、圆形出铁场、渣处理系统、粗煤气系统、煤气清洗设施、高炉鼓风系统等基本不做大的改造,以最大限度节省资金、缩短工期。

3.1 上料系统

3.1.1 工艺流程

首钢 2 号高炉所需原、燃料由胶带机运到料仓,经筛分、称量后采用胶带机运送到高炉炉顶,在料仓到炉顶之间设有中继站。

料仓设有烧结矿仓 6 个,球团、块矿仓各 3 个,杂矿仓 4 个,焦炭仓 3 个。

烧结矿和焦炭采用分散筛分、集中称量方式。筛分后的合格物料,分别由 N2 及 N4 胶带运输机送到上料主胶带机上方的称量罐进行称量。球团、块矿和杂矿用电磁振动给料机给料,经各自的称量罐分散称量后,由 N3 胶带机送至杂矿中间料罐内储存。

主胶带机($\alpha = 12^\circ$, $B = 1200\text{mm}$)利旧,只根据现场实际情况更换了胶带及部分托辊。

3.1.2 烧结矿振动筛

2 号高炉原使用的概率筛,实际能力约为 140t/h,4 台筛子同时工作,筛下物 $< 5\text{mm}$ 的碎矿约为 20%,回收率较低。本次技术改造选用双层 $1.5\text{m} \times 3.5\text{m}$ 高效振动筛,处理能力为 250t/h,筛分效率 $\geq 80\%$ 。

3.1.3 焦炭振动筛

原有的焦炭振动筛设备陈旧、筛分效率低,本次技术改造选用双层 $1.5\text{m} \times 3\text{m}$ 高效振动筛,处理能力为 250t/h,筛分效率 $\geq 80\%$ 。

3.1.4 焦丁($10 \sim 25\text{mm}$)回收入炉设施

根据 2 号高炉碎焦筛分设施的条件,利用原有构筑物进行局部改造。设置一台 900×1800 自定中心振动筛,设置焦丁缓冲斗及焦丁称量斗,筛下物由胶带机运至原返焦系统,定期装火车外运。

3.1.5 矿丁($> 5\text{mm}$)回收入炉设施

利用 2 号高炉的原有条件,增加一套分层处理器及圆筒筛,筛上物进入矿丁称量斗,其有效容积 5m^3 ,设置于 N3 胶带机尾部,筛下物经过胶带机转运至原返矿运输系统上(FK-2 胶带机)运至一烧精矿库。

3.1.6 料仓除尘

为了加强环保治理,高炉料仓的卸料口用胶带进行密封,以保证在胶带机卸料时不向外扬尘,因此对 N5、N6、N7、N8 胶带机的重型卸料车进行改造。增加皮带托辊及卸料车两侧的密封胶带的张紧装置。

3.2 炉顶系统

原炉顶系统为并罐无料钟炉顶(胶带上料),料罐有效容积 $2 \times 30\text{m}^3$,氮气冷却气密箱。布料方式为单一的多环布料,采用 PLC 集中控制。炉顶设备利旧改造,将原有的氮气冷却气密箱改为水冷气封式气密箱,同时增设以下配套设施:

(1) 增设 1 台干油润滑泵用于布料器的润滑。

(2) 增加一套气密箱水冷系统,用于气密箱的冷却。

(3) 改造喷水降温系统,实现自动控制,及时可靠地控制炉顶温度。

(4) 改造原有的炉顶液压站,增加液压比例调节阀实现多环、螺旋、定点、扇形等灵活多样的布料方式,使高炉操作稳定顺行,提高煤气利用率,降低焦比,延长高炉寿命。

3.3 炉体系统

总结上一代 2 号高炉 10 年的生产经验,本次 2 号高炉技术改造将高炉炉型进行了优化,使其更为合理,2 号高炉技术改造前后的炉型参数见表 2。高炉设有 24 个风口,2 个铁口,无渣口。炉体框架原有结构保留不动,仍为自立式框架结构,框架柱柱距仍为 16m,各层平台及梯道做相应调整。

3.3.1 高炉炉型

根据首钢多年的高炉操作实践,结合首钢原、燃料特点,采用了合理的矮胖炉型,技术改造后的 2 号高炉

高径比 $H_u/D=2.461$ 。

表 2 首钢 2 号高炉技术改造后炉型参数

项 目	设计值	项 目	设计值	项 目	设计值
有效容积 V_u m^3	1780	炉缸高度 h_1 mm	4000	风口数 / 个	24
有效高度 H_u mm	26700	炉腹高度 h_2 mm	3100	铁口数 / 个	2
炉缸直径 d mm	9700	炉腰高度 h_3 mm	2000	风口间距 mm	1270
炉腰直径 D mm	10850	炉身高度 h_4 mm	15600	H_u/D	2.461
炉喉直径 d_1 mm	6800	炉喉高度 h_5 mm	2000	炉腹角 α	$79^{\circ}29'31''$
死铁层深度 h_0 mm	1800	风口高度 h_f mm	3400	炉身角 β	$82^{\circ}36'14''$

3.3.2 高炉内衬

根据对首钢高炉内衬破损特征和机理的研究分析^[1],为了延长高炉寿命,采用首钢成熟的综合炉底技术。高炉内衬优先采用国产优质耐火材料,炉底满铺采用 4 层优质半石墨质大块国产炭砖,炉底最上一层满铺炭砖采用国产优质微孔大块炭砖;在炉缸、炉底热应力、铁水冲刷侵蚀、碱金属侵蚀较严重的“象脚状侵蚀”区域设计采用了美国 UCAR 公司的 NMA、NMD 热压小块炭砖,铁口区采用 NMA、NMD 砖;风口组合砖采用法国 SAVOIE 公司的稳定性和整体性好的大块棕刚玉 MONOLORAL 组合砖结构,炉底采用 2 层法国 SAVOIE 公司的大块刚玉莫来石陶瓷垫,炉底总厚度 2800mm,铁口以上炉缸壁环形炭砖采用国产优质微孔大块炭砖;冷却壁与炉壳之间采用无水压入泥浆,铜冷却壁与炉壳之间采用低水自流浇注料,炉腹、炉腰及炉身下都采用 Si_3N_4-SiC 砖砌筑,炉身中部、上部采用高密度粘土砖砌筑,炉腹至炉身部位采用薄炉衬结构,内衬厚度 400mm。

3.3.3 炉体冷却系统

炉底水冷管、风口大套及第 1、4、5、16、17 段冷却壁采用常压工业水冷却,风口小套及中套采用高压工业水冷却,炉缸第 2、3 段冷却壁采用中压工业水冷却,炉腹、炉腰及炉身第 6 至 15 段冷却壁采用软水密闭循环冷却,达到了节水、节能、冷却可靠的目的。

炉缸、炉底区域采用灰铸铁(HT200)光面冷却壁(第 1~5 段);炉腹、炉腰及炉身下部(第 7~9 段)冷却壁采用首钢设计院自行开发设计的 SiC 捣料型铜冷却壁^[2],铜冷却壁厚度为 140mm,炉腹(第 6 段)、炉身中部(第 10~12 段)冷却壁采用 SiC 捣料型双排管球墨铸铁冷却壁,冷却壁材质为 QT400-20,炉身上部(第 13~16 段)冷却壁采用 SiC 捣料型单排管球墨铸铁冷却壁,冷却壁材质为 QT400-18,在炉身上部取消无冷区,增加一段 C 型冷却壁,冷却壁材质为 QT400-18,冷却壁直接与炉料接触,取消耐火材料内衬。炉身中上部(第 10~16 段)冷却壁设凸台,为砖衬提供有效的支撑。

3.3.4 高炉自动化检测及控制

采用新型十字测温装置,在线监测炉内煤气流的分布和温度变化,配合多环布料技术,使高炉操作稳定顺行,提高煤气利用率,延长高炉寿命。

采用炉顶高温摄像机,在线监控炉料分布状况和料面形状。

完善高炉自动化测温、测压、流量检测及炉衬测厚装置,完善煤气取样自动分析,采用人工智能化高炉冶炼专家系统辅助高炉操作,进行科学管理。

3.4 风口平台及出铁场

3.4.1 风口平台、出铁场原状

2 号高炉风口平台、出铁场在 1991 年大修改造时,由原南北两个矩形出铁场、实心风口平台改为圆形出铁场,架空式风口平台结构。圆形出铁场直径 68.1m。

圆形出铁场内设有南、北 2 个出铁口,在高炉西侧设有一个上渣口,与高炉中心线夹角 $34^{\circ}36'55''$,在出铁场东南方向有一条通往出铁场平台(标高 8.0m)的公路引桥,日常生产备件及各种物料可由汽车直接送到出铁场内。原有渣铁运输为铁路运输方式,在出铁场东侧设有两条铁水罐车停放线,高炉铁水通过非储铁式主铁沟、撇渣器及支铁沟流入铁水摆动流槽内,再由摆动流槽分配到铁水罐内,使用的铁水罐规格主要为

260t 鱼雷罐车。出铁场西侧设一条干渣备用铁路线和一条炉顶设备检修专用铁路线。

2.4.2 风口平台、出铁场技术改造内容

取消高炉西侧的渣口,原有南、北两个出铁口位置保持不动,相应改造原有渣铁沟结构,设计采用半储铁式保温节能新型结构主沟,渣铁沟采用保温节能新型结构,工作内衬采用快干浇注料。

增加一台 $Q=30t/5t$ 环形吊车,吊车跨度、内外轨半径及标高均保持不变。将热风总管提高至环形吊车上方,使 2 台环形吊车能在 360° 范围内运行,提高炉前机械化水平。

取消原有的开口机,安装 2 台由首钢设计院开发研制的气-液复合开口机,凿岩机采用气动。

改造出铁场除尘设施,在铁口区域侧吸的基础上增设顶吸装置和顶吸除尘管路,有效地解决了开、堵铁口时的烟尘外溢问题。

3.5 热风炉系统

3.5.1 热风炉系统工艺特点

为了缩短停炉时间,需在高炉停炉前先建热风炉,2 号高炉为原地大修改造,场地非常拥挤,而高炉南侧场地也比较狭窄,只能布置 3 座内燃式热风炉,热风炉的工艺管道(支烟道、主烟道、冷风管、煤气支管、助燃空气支管等)只能布置在铁路的上方。经过多方案比较,决定在高炉南面场地上新建 3 座改造型高风温内燃式热风炉,原有的 4 座顶燃式热风炉拆除 2 座,改造 2 座用于预热助燃空气,利用热风炉烟气预热高炉煤气,在全烧高炉煤气的条件下使热风温度达到 $1250^\circ\text{C}^{[3]}$ 。

高炉配置 3 座霍戈文改造型高风温内燃式热风炉,热风炉呈一列式布置。

3.5.2 热风炉主要工艺参数

(1) 热风炉工艺条件

高炉容积	1780m ³
热风炉座数	3 座
热风炉操作方式	二烧一送
送风时间	45min
燃烧时间	80min
换炉时间	10min

(2) 热风炉技术性能

热风炉炉壳内径	$\phi 2200\text{mm}/\phi 10468\text{mm}$
热风炉总高度	41590mm
热风炉高径比	4.521
热风炉蓄热室断面积	35.8m ²
热风炉燃烧室断面积	9.7m ²
每座热风炉总蓄热面积	48879m ²
燃烧器长度	3.4m
每 m ³ 高炉容积具有的加热面积	82.38m ² /m ³
每 m ³ /min 高炉鼓风的加热面积	35m ² /(m ³ /min) (按风量 4200m ³ /min)

3.5.3 热风炉耐火材料设计

根据热风炉各部位的工作温度、结构强度和化学侵蚀的特点,分别选用了不同性能的耐火材料。热风炉高温区耐火材料要求有较高的荷重软化点,高温热稳定性好,抗化学侵蚀和气流冲刷能力强,并具有良好的抗高温蠕变性能,设计选用硅砖,热风炉中部(分界段)采用低蠕变的红柱石砖,下部温度较低,设计选用了低蠕变粘土砖。

热风炉拱顶呈悬链线形与大墙砌体分开,形成各自独立的结构,炉墙可独立胀缩。在拱顶硅砖设计中采用了关节砖和“板块式”结构,并设有均压孔,可有效解决拱顶在膨胀、收缩时的不稳定现象,并且可提高拱顶的保温效果。热风炉拱顶关键部位硅砖引进荷兰 DCE 公司专有设计及产品。蓄热室采用 $\phi 40\text{mm}$ 七孔蜂窝

格子砖,每 m^3 格子砖加热面积 $42.14m^2$ 。燃烧室与蓄热室的隔墙为独立结构,与大墙之间不咬砌,隔墙与大墙之间设置滑动缝和膨胀缝,两者之间可以自由滑动和膨胀,隔墙下部设置隔热砖,以减少隔墙的温度梯度和热应力,防止隔墙开裂短路,隔墙镶嵌耐热不锈钢板,防止窜风。热风炉各孔口、热风管道三岔口及各孔口等易破损部位均采用组合砖结构。

热风管道系统采用红柱石质耐火砖,隔热层采用轻质高铝砖、轻质粘土砖。考虑到热风管道较长,在管道内衬中设有膨胀缝,膨胀缝处设锁砖保护,以防止窜风和掉砖。

3.5.4 燃烧器

每座热风炉设一个矩形陶瓷燃烧器,燃烧器正常工作范围为正常设计值的 $40\% \sim 135\%$ 。燃烧器采用DCE公司专有技术及产品。燃烧器内设有调整煤气流的摆墙,摆墙内有不锈钢骨架,骨架外包覆浇注料。陶瓷燃烧器选用具有良好高温稳定性和抗热震性的红柱石砖。

3.5.5 预热系统

热风炉的预热系统设计了低温预热及高温预热两套系统,通过预热高炉煤气及助燃空气,在全烧高炉煤气的条件下,使热风温度达到 $1250^{\circ}C$ 。

(1) 低温预热设计

利用热风炉烟气余热,通过分离式热管换热器对热风炉用高炉煤气进行预热。预热后,高炉煤气温度可达 $200 \sim 250^{\circ}C$ 。分离式热管换热器的烟气、煤气2个箱体分散布置,通过外联管传输换热介质。

(2) 高温预热设计

2号高炉原有4座顶燃热风炉于1979年建成投产,在1991年2号高炉大修时,只更换了热风炉内衬、格子砖、燃烧器、部分工艺管道及设备。此次2号高炉技术改造,拆除1、2号顶燃热风炉,利旧改造3、4号顶燃热风炉用于预热助燃空气,预热助燃空气达到 $600^{\circ}C$ 。

3.5.6 热风炉的操作控制及检测

热风炉采用二烧一送的工作制度,热风炉的换炉操作采用PLC集中控制,操作方式有全自动、半自动、手动及现场机旁操作等多种方式。热风炉拱顶测温采用黑体空腔测温仪。在硅质格子砖与红柱石质格子砖界面上安装永久测温热电偶。设有高炉煤气热值仪,热风炉下部设有专用的烟气采样口及采样阀,阀后安装残氧分析仪,可测量烟气中 CO 和 O_2 含量,并根据煤气热值及烟气中残氧量对热风炉的燃烧进行自动调节。

3.6 粗煤气系统

重力除尘器上升管及下降管利旧,卸灰设备更新改造,增设加湿卸灰机;上升管、下降管内衬喷涂料更换;导出管及波纹补偿器更新。

3.7 渣处理系统

本次2号高炉技术改造水冲渣系统保持不动,将原有两套冲渣喷嘴、部分水渣沟外壳和衬板、两台10t抓斗吊车及冲渣管路和阀门进行更换。沉渣池及底过滤池进行清理。

3.8 喷煤系统

利用已建成投产的首钢新型制粉喷煤系统,采用总管加分配器的长距离直接喷吹工艺,直接喷吹距离 $452m$,高炉设计煤比 $200kg/t_o$ 。

3.9 煤气清洗系统

煤气清洗系统利旧,只进行局部改造。由于减压阀组运行时间较长,内部冲刷、结垢情况较严重,更换减压阀组;由于煤气放散塔为1979年的设施,运行时间较长,更换煤气放散塔;水过滤器连续运行较长,维护量大,此次将其更换为自清洗高效水过滤器;改造煤气清洗系统的供水系统,将现有“并联供水”改为“串联供水”工艺。

3.10 给排水系统

对联合泵站进行系统调整改造,原有常压供水系统由动力厂二、五泵站常压泵组分两条管路供给,始建于1978年,距2号高炉约 $1500m$,到本次2号高炉技术改造管路已超过规定使用年限,按原路由更换管路困难较大且投资较高,因此,在2号高炉北边新建一座常压水供水泵站,高压水泵站、中压水泵站及软水泵站等

利旧,只进行泵、阀门及管道的检修改造,部分设备更新。

3.11 自动化系统

进行自动化系统的升级改造,提高检测能力及控制水平,技术改造后的2号高炉控制分为两级控制,两级控制系统之间靠以太网进行数据传送,以太网速度为10Mb/s。引进芬兰罗德洛基公司人工智能高炉冶炼专家系统,进行炉热指数计算、铁水含硅量及温度预报、炉况分析等辅助高炉操作,进行科学管理。

3.12 电气系统

对各系统的电气设备及材料全部更新,新建高炉区高压配电室,原主电室改造为低压配电室,更新改造原有高压水变电站的高压配电室,并对有关电磁站做相应调整改造;55~220kW低压电动机采用软启动装置,降低了配电变压器的启动容量,减小了对配电网的启动冲击。

3.13 压差发电(TRT)系统

压差发电设施利旧,只进行部分设备的更新改造,发电能力4000kW。更换TRT的旁通阀组;更换可动叶片喷嘴的执行机构,液压系统检修改造;自动化仪表完善更新;增加密封用氮气系统的干燥、脱水、增压设施。

3.14 高炉鼓风系统

高炉风机采用动力厂2号高炉风机,并进行检修改造。对6号高炉风机空气过滤装置进行更新改造,增设一段供2号高炉的联络管线,作为2号高炉的备用风机。

3.15 环保除尘

设计了供料、料仓、炉前等系统的除尘装置;为减小二次扬尘,重力除尘器卸灰采用加湿卸灰机;在所有风机的进风口和放散阀处,均设置了消音器,以降低噪音污染。在2号高炉的设计中加强了环境保护,实现了高炉清洁化生产。

3.16 总图运输系统

本次2号高炉的技术改造,在满足工艺流程合理的前提下,力求总图布置紧凑,最大限度地利用既有设施。原高炉基础、炉体框架、炉顶设备、风口平台及出铁场、高炉料仓及No1转运站、粗煤气系统、高炉主控中心等基本利旧。上料系统新增矿丁及焦丁回收系统;在高炉北侧新建常压水泵站;在高炉南侧新建3座改造型内燃式热风炉。

4 首钢2号高炉现代化技术改造后的生产实践

首钢2号高炉现代化技术改造工程于2002年5月23日竣工投产。2号高炉开炉顺利,运行良好,生产稳定顺行,投产3个月内已达到或超过设计指标,取得了良好的实绩。

4.1 热风炉系统设计合理,热风温度大幅度提高。首钢2号高炉上代炉役热风温度为1050℃,改造后通过2座顶燃热风炉预热助燃空气到600℃,利用热风炉烟气余热预热高炉煤气到200℃。在全烧高炉煤气(没有高热值煤气富化)的条件下,使热风温度达到1250℃,提高热风温度200℃。由于整个热风炉系统的合理设计,解决了送风组件高温下漏风烧红的现象。高效陶瓷燃烧器具有广泛的适应性,为高炉生产提供了有利保障,满足了高炉冶炼生产操作的需要。而且热风炉系统的结构设计合理,有利于提高热风炉系统整体寿命,达到30年的设计寿命。

4.2 生产操作指标先进。由于高炉炉型设计合理,高炉内衬结构优化,冷却系统完善,确保了高炉开炉顺利,高炉生产稳定顺行,高炉的技术经济指标稳步提高,在投产后3个月内生产指标就已达到或超过通过设计指标,获得最佳的经济效益。首钢2号高炉新技术的综合应用,达到了节能降耗、提高2号高炉整体技术经济指标的目的。

4.3 提高生产操作控制水平。首钢2号高炉技术改造工程实施后,由于检测及自动化水平的提高及高炉人工智能专家系统投入,使高炉操作更稳定、更方便,减轻了工人的劳动强度,改善了劳动条件。

4.4 首钢2号高炉采用了软水密闭循环冷却,达到了节水、节能的目的,由于软水冷却系统具有冷却可靠、系统稳定的优点,延长了高炉冷却壁的使用寿命,保证了高炉的长寿。

4.5 实现清洁化生产。由于加强了上料及炉前系统的除尘,实现了高炉清洁化生产。

4.6 首钢2号高炉经过78天的停炉技术改造,于2002年5月23日顺利投产,投产一周后,高炉利用系数达到 $2.2t/(m^3 \cdot d)$ 以上,高炉生产指标稳步上升。首钢2号高炉($1780 m^3$)2002年主要技术经济指标见表3。

表3 首钢2号高炉2002年主要技术经济指标

项 目	10月	11月	12月	四季度	下半年
产铁量, $\times 104t/a$	13.385	13.053	13.101	39.539	76.393
日产铁量, t/d	4317.77	4350.9	4226.16	4297.71	4151.82
平均利用系数, $t/(m^3 \cdot d)$	2.426	2.444	2.374	2.414	2.332
生铁合格率, %	100	100	100	100	100
一级品率, %	97.21	96.54	97.09	96.95	96.27
入炉矿品位, %	59.79	59.82	59.42	59.68	59.74
熟料率, %	89.26	89.19	91.34	89.93	89.13
入炉焦比, kg/t	296.9	296.2	330.1	307.7	320.3
煤比, kg/t	169.8	164.5	155.0	163.1	162.6
焦丁, kg/t	14.3	19.3	14.0	15.9	11.7
综合焦比, kg/t	444.2	443.2	465.4	450.9	459.7
燃料比, kg/t	481	480	499.1	486.7	494.6
综合冶炼强度, $t/(m^3 \cdot d)$	1.126	1.159	1.142	1.129	1.114
风量, Nm^3/min	3290	3323	3352	3322	3310
富氧率, %	0.30	0.30	0.08	0.23	0.33
风温, $^{\circ}C$	1220	1200	1161	1194	1152
风压, MPa	0.304	0.306	0.306	0.305	0.304
顶压, MPa	0.166	0.167	0.167	0.167	0.166
顶温, $^{\circ}C$	204	215	204	208	211
渣量, kg/t	292	318	317	309	302
煤气利用率, %	44.751	50.494	49.448	48.231	46.119
[Si], %	0.363	0.386	0.394	0.381	0.383
[S], %	0.025	0.023	0.023	0.024	0.024

4.7 首钢2号高炉($1780 m^3$)设计产量与实际产量对比见表4。

表4 首钢2号高炉设计产量与实际产量对比

年产量($\times 10^4t$)		最高月产量($\times 10^4t$)	
设计值	实际到达值	设计值	实际到达值
130-160	76.39(半年) 152.78(折算)	13.333	13.385

5 结语

高温预热及高风温长寿热风炉技术、高炉高效长寿综合技术、铜冷却壁技术、软水密闭循环冷却技术、高炉人工智能专家系统、矿丁及焦丁回收技术、炉前现代化设备等综合技术在首钢2号高炉上应用,提高了2号高炉整体技术装备水平,经过一年多的生产实践表明首钢2号高炉技术改造设计是合理的,技术水平已达到国内领先水平。

参 考 文 献

- 1 单泊华 王颖生等 通过2号高炉破损调研探索首钢高炉长寿途径 2003中国钢铁年会论文集 冶金工业出版社 2003:491~496
- 2 张福明 姚斌等 铜冷却壁的设计研究与应用 铜冷却壁技术研讨会论文集 2003:39~42
- 3 吴启常 张建梁 苍大强 我国热风炉的现状 & 提高风温的对策 炼铁 2000(5):1~4